

## Особенности строительства свайных фундаментов в зонах вечной мерзлоты на объектах нефтегазовой отрасли

*А.А. Ермаков, А.С. Захарова, В.А. Бегинина, М.С. Чухлатый*

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Аннотация:** Вечная мерзлота занимает около 25 процентов площади земного шара и распространяется по северу Америки, Европы, Азии, а также по островам Северного Ледовитого океана и Антарктиды. В России немалая часть населения проживает и работает в районах Крайнего Севера, где в условиях вечномерзлых грунтов стремительными темпами развивается добыча полезных ископаемых. Именно здесь важным вопросом является возведение фундаментных оснований.

**Ключевые слова:** Свайный фундамент, вечная мерзлота, бурение, нефтедобыча, суша, территория, деформации, грунт, монтаж, винтовые сваи.

Вечная мерзлота — это толщи земных пород, не оттаивающие в течение длинного периода времени — от нескольких лет до тысячелетий. Глубина зоны многолетней мерзлоты иногда превышает 1000 метров, грунтовые воды в этой зоне находятся в виде льда.

Приблизительно вечная мерзлота занимает около четверти всей суши на Земле. В России такие земли распространены на более трети всей территории страны (около 65-ти процентов площади) [1]. Это преимущественно северные и северо-восточные районы. Учитывать наличие многолетней мерзлоты нужно при проведении строительных, геологоразведочных и других работ на Севере. Строительство зданий и сооружений, в частности возведение фундаментов в этих местах, имеет свою специфику, ведь промерзшие грунты имеют очень высокую прочность.

К фундаментам на вечно мерзлых грунтах необходимо применять основательный подход. Чтобы их возвести, нужно применить специальную технологию, вызванную особыми характеристиками грунтового основания. Даже уже на этапе проектирования опорного основания в условиях вечной мерзлоты необходимо учесть ряд важных моментов [2]:

1. разработка мероприятий по снижению возможных деформаций объекта строительства;

2. точный расчет глубины заложения фундамента;
3. основательный выбор вида фундаментного основания с учетом местных условий.

Таким образом ученые выяснили, что в районах вечной мерзлоты для устройства фундаментных оснований наиболее подходящим являются сваи (рис. 1).

### **Свайный фундамент для районов с вечномерзлыми грунтами**

Строительство зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах требует длительного предварительного этапа до устройства фундамента. Он предусматривает глубокое инженерное геокриологическое изучение [3].

Что же включают в себя предварительные исследования? Во-первых, информацию о геологических условиях участка застройки. Это и характер залегания, температура, величина оттаивания слоя, а также климатические особенности региона. Во-вторых, предварительные исследования должны содержать материалы, в которых изучаются грунты (особенности их строения, физические характеристики и т.д.). В-третьих, информацию о будущих изменениях условий на строительной площадке (температурный режим и т.д.).

Чаще всего на объектах нефтедобычи, которые находятся в районах вечной мерзлоты, возводят **свайный фундамент** (рис. 2).



Рис. 1. - Распространение мерзлоты на территории России.



Рис. 2. - Свайное основание для компрессорной станции.

Рассмотрим некоторые обоснованные преимущества такого фундамента [4]:

- отсутствует большой объем земляных работ в котловане, что в природных условиях местности сделать достаточно трудоемко. В связи с этим устройство ленточных и столбчатых фундаментов менее возможно;
- свайные фундаменты можно применять в любое время года, при любых погодных условиях;
- процесс устройства (погружение свай) достаточно прост и доступен;
- сваи в условиях вечной мерзлоты погружают на большую глубину. Это, конечно, способствует равномерной осадке объекта строительства;
- станки нефтедобычи на свайном фундаменте не подвержены силам пучения грунтов.

#### **Фундамент из буроопускных свай. Технология выполнения работ**

На сегодняшний день для районов с вечномерзлыми грунтами разработана специальная технология устройства свайных фундаментов из **буроопускных свай** (рис. 3).

Принцип буроопускной технологии монтажа свай представляет собой установку железобетонных конструкций внутрь скважин, которые заранее разработаны, их диаметр превышает сечение сваи на 50-100 мм.

Между сваей и стенками полости образуется пространство, которое заполняется раствором, который, в свою очередь, после монтажа сваи начинает смерзаться со стенками столба и грунтом. Именно этим обеспечивается дополнительная устойчивость железобетонной сваи.

Подбор глубины разрабатываемых скважин происходит в зависимости от проекта свайного фундамента так, чтобы, установив столб заданной длины, сохранился требуемый нулевой уровень погруженной опоры, то есть высота участка сваи, выступающего над грунтом.

Перед монтажом сваи пробуренную полость необходимо заполнить раствором на 1/3 общей глубины. Затем, когда опускается, железобетонная конструкция выдавливает этот раствор, и он должен равномерно распределиться между стенками сваи и скважины.

Рассмотрим поэтапно технологию выполнения работ буроопускных свай [2].

### 1. Установка бурового станка на точку бурения

Перед тем, как разместить буровую на точку бурения, необходимо удостовериться в том, что грунт имеет ровную поверхность, он устойчив и способен выдержать вес установки. Выполняется разбивка скважины, затем буровая установка подъезжает к будущей скважине, центр забурника располагается над колышком разбивки скважины. Перед началом бурения нужно поставить мачту буровой установки в вертикальное положение, убедиться, что башня зафиксирована от вращения, опустить передний цилиндр опоры мачты до тех пор, пока он не коснется грунта (рис. 4).



Рис. 3. - Каркас буроопускной сваи.



Рис. 4. - Буровая установка на точке бурения перед началом работ.

## 2. Бурение скважины

Во время бурения грунт частично транспортируется на поверхность, и одновременно уплотняется по стенкам скважины (рис. 5).

## 3. Бетонирование скважины

В процессе бетонирования бетон подаётся бетононасосом под давлением, после заполнения внутренней трубы шнеков бетоном, открывается заглушка на забурнике, и бетон поступает на забой скважины. Одновременно с подачей бетона машинист производит извлечение шнека, формируя профиль сваи. Бетонировать буронабивные сваи необходимо выполнять бетонной смесью по ГОСТ 26633—91, марки, в соответствии с рабочей документацией, с характеристиками по ГОСТ 7473—94. Давление, которое создается бетононасосом, обеспечивает дополнительное уплотнение стенок скважины и повышение несущей способности сваи (рис. 6).



Рис. 5. - Процесс бурения скважины.



Рис. 6. - Бетонирование сваи с помощью бетононасоса.

## 4. Погружение арматурного каркаса

После полного бетонирования скважины необходимо очистить устье скважины для дальнейшего погружения арматурного каркаса. Он может быть погружен с помощью подъёмного крана или вспомогательной лебёдкой буровой установки. Кроме того, для погружения необходим высокочастотный вибропогружатель, который обеспечивает погружение

каркаса до проектной отметки с одновременным уплотнением бетона (рис. 7).



Рис. 7. - Погружение арматурного каркаса с помощью вспомогательной лебедки буровой установки.

Необходимо отметить, что способ погружения свай в мерзлые грунты зависит от комплекса условий, включающих состояние мерзлых грунтов. Применяются следующие типы погружения опор:

- механизированная установка опор – опоры монтируются в скважины при помощи специальных механизмов. Этот способ не экономичен, здесь задействована дорогая грузоподъемная техника;
- фундаментное основание устанавливается путем погружения свай в предварительно оттаянный грунт (оттаивание должно проводиться специальными иглами с помощью пара или электричества). Этот способ сложный и сопряжен с высокими затратами;
- когда монтаж свай в скважины происходит в скважины заведомо меньшего диаметра (бурозабивной способ);
- когда происходит забивка свай в вечномерзлые грунты без проведения предварительной подготовки.

### **Фундамент и опоры для нефтепровода в зонах вечной мерзлоты**

В данный момент сваи применяются и на магистральных трубопроводах. В частности на территории Сибири и в Северной Америке.

Опоры нефтеперекачных и других трубопроводов испытывают вертикальные, выдергивающие, горизонтальные нагрузки, именно по этой

причине лучшим фундаментом для трубопроводов являются **винтовые сваи**. Они с легкостью выдерживают все эти типы нагрузок и очень быстро монтируются.

Возможность устройства фундаментов из винтовых свай в многолетнемерзлых грунтах предусматривается Сводом правил. В соответствии с п. 6.3.9. данного нормативного документа «при устройстве свайных фундаментов в многолетнемерзлых грунтах допускается применять виды и конструкции свай, предусмотренные Сводом правил, в том числе буронабивные, сваи-оболочки, а также составные (комбинированные) сваи из разных материалов».

Фундамент для трубопроводов может быть нескольких типов:

- для многоярусных эстакад со значительными нагрузками устанавливается 4 и более винтовых свай на пикете - многосвайный фундамент. При этом, обычно выполняется железобетонный или сварной ростверк;
- для одноярусных эстакад и для трубопроводов с небольшими нагрузками до 35 т на одну стойку (или до 70 т на пикет) устанавливается двухсвайный фундамент, намного реже четырехсвайный;
- винтовые сваи используются также в качестве фундамента, работающего как анкер, при прокладке трубопроводов в болотах и под водой (рис. 8).

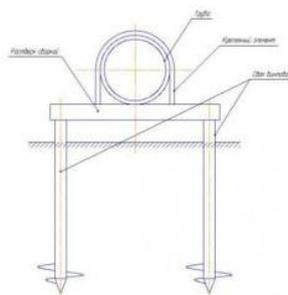


Рис. 8. - Свайный фундамент под трубопровод.

Яркий пример нефтепровода на сваях представлен на рис 9.



Рис. 9. – Нефтепровод на сваях.

Наземная прокладка трубопроводов иногда и не осуществляется из-за высокого риска отказов, в частности из-за оттаивания в летнее время, приводящее к погружению трубопровода, но, с другой стороны, для нефтепроводов часто иное исполнение невозможно, из-за высокой температуры нефти и возможности оттаивания мерзлоты. Еще одним примером нефтепровода на сваях может послужить большая часть Трансаляскинского нефтепровода в США.



Рис. 10. - Трансаляскинский нефтепровод США, штат Аляска.

Трубопровод на опорах может испытывать большие перепады температур, поэтому нужно повышать требования к качеству стали самого трубопровода и его опор. Часто применяются опоры особого типа, запаасающие холод в зимний период, сохраняющие мерзлоту летом, их называют сезонными охлаждающими устройствами — СОУ (установки термостабилизаторов) [4].

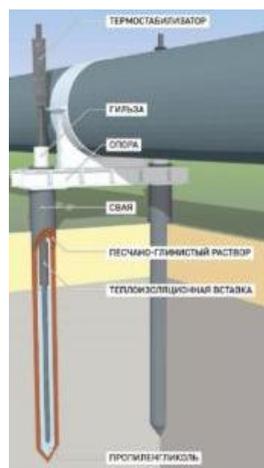


Рис. 11. - Расположение термостабилизатора грунта свайных опор.

Территории вечной мерзлоты занимают немалую часть всего земного шара, и здесь уже построено множество зданий и различных сооружений как для нефтегазовой отрасли, так и для жизнедеятельности людей [5-6].

Поэтому сейчас современные строительные технологии требуют совершенствования методов исследования вечномерзлых грунтов. Здесь также важно разработать эффективные конструкции фундаментов, так же важно более эффективно использовать потенциал несущей способности грунтов и учитывать перспективы климатических изменений [7-8].

Наиболее перспективным и экономически выгодным условиях мерзлоты является свайный фундамент, основные преимущества которого:

- отсутствие необходимости в разработке природного грунта в котловане;
- любые погодные условия для возведения;
- доступная технология устройства [9-10].

## Литература

1. Таргулян Ю.О., Высоцкий Д.П., Неклюдов В.С. Рекомендации по устройству свайных фундаментов в вечномёрзлых грунтах // НИИОСП, 1985. - 41 с.
2. Велли Ю.Я., Докучаева В.И., Федорова Н.Ф. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах // Стройиздат, 1977. - 552 с.
3. Строительство трубопроводов на вечномёрзлых грунтах. URL: [studopedia.org/7-3371.html](http://studopedia.org/7-3371.html) (дата обращения: 20.02.2021).
4. Окороков Н. С., Коркишко А. Н. Прогнозный расчет приточно-охлаждаемых свай на вечномёрзлых грунтах. – Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 9. – С. 14-18. – URL: [applied-research.ru/ru/article/view?id=12380](http://applied-research.ru/ru/article/view?id=12380) (дата обращения: 18.10.2018).
5. Вечная мерзлота. URL: [ru.wikipedia.org/wiki/](http://ru.wikipedia.org/wiki/) (дата обращения: 21.02.2021).
6. Устройство свайных фундаментов в вечномёрзлых грунтах. URL: [kardo174.ru/svajnyj/stroitelstvo-na-vechnomerzlyh-gruntah.html](http://kardo174.ru/svajnyj/stroitelstvo-na-vechnomerzlyh-gruntah.html) (дата обращения: 21.02.2021).
7. Панасюк Л.Н., Акопян В.Ф., Акопян А.Ф., Чантха Хо. Новые виды свай // Инженерный вестник Дона, 2011, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/437](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/437) (дата обращения: 21.02.2021)
8. Сафарян В.С., Бай В.Ф., Коркишко А.Н., Чухлатый М.С. Отдельно стоящие фундаменты с неплоской подошвой // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5870](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5870)
9. Fantozzi F., Galbiati P., Leccese F., Salvadori G., Rocca M. Thermal analysis of the building envelope of lightweight temporary housing. 32ND UIT (Italian Union of Thermo-Fluid-Dynamics) Heat Transfer Conference. Journal of Physics Conference Series. 2014. Volume: 547; Article number: 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/547/1/012011.

10. Ruud S., Ostman L., Oradd P. Energy savings for a wood based modular pre-fabricated facade refurbishment system compared to other measures. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference Sbe16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 768- 778. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.139.

### References

1. Targuljan Ju.O., Vysockij D.P., Nekljudov V.S. Rekomendacii po ustrojstvu svajnyh fundamentov v vechnomerzlyh gruntah [Recommendations for the construction of pile foundations in permafrost soils] NIIOSP, 1985. 41 p.
2. Velli Ju.Ja., Dokuchaeva V.I., Fedorova N.F. Spravochnik po stroitel'stvu na vechnomerzlyh gruntah [Permafrost Construction Guide] Strojizdat, 1977. 552 p.
3. Stroitel'stvo truboprovodov na vechnomerzlyh gruntah [Construction of pipelines on permafrost] URL: [studopedia.org/7-3371.html](http://studopedia.org/7-3371.html) (data obrashhenija: 20.02.2021).
4. Okorokov N. S., Korkishko A. N., Prognoznyj raschet pritochno-ohlazhdaemyh svaj na vechnomerzlyh gruntah. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2018. № 9. PP. 14-18. URL: [applied-research.ru/ru/article/view?id=12380](http://applied-research.ru/ru/article/view?id=12380) (data obrashhenija: 18.10.2018).
5. Vechnaja merzlota [Permafrost] URL: [ru.wikipedia.org/wiki/](http://ru.wikipedia.org/wiki/) (data obrashhenija: 21.02.2021).
6. Ustrojstvo svajnyh fundamentov v vechnomerzlyh gruntah [Construction of pile foundations in permafrost soils] URL: [kardo174.ru/svajnyj/stroitelstvo-na-vechnomerzlyh-gruntah.html](http://kardo174.ru/svajnyj/stroitelstvo-na-vechnomerzlyh-gruntah.html) (data obrashhenija: 21.02.2021).
7. Panasjuk L.N., Akopjan V.F., Akopjan A.F., Chantha Ho. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/437](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/437) (data obrashhenija: 21.02.2021).



8. Safarjan, V.S., Baj V.F., Korkishko A.N., Chuhlatyj M.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/58709](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/58709)
9. Fantozzi F., Galbiati P., Leccese F., Salvadori G., Rocca M. Thermal analysis of the building envelope of lightweight temporary housing. 32ND UIT (Italian Union of Thermo-Fluid-Dynamics) Heat Transfer Conference. Journal of Physics Conference Series. 2014. Volume: 547; Article number: 012011. DOI: [10.1088/1742-6596/547/1/012011](https://doi.org/10.1088/1742-6596/547/1/012011).
10. Ruud S., Ostman L., Oradd P. Energy savings for a wood based modular pre-fabricated facade refurbishment system compared to other measures. Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference Sbe16 Build Green and Renovate Deep. Energy Procedia. 2016. Volume: 96; pp. 768-778. DOI: [10.1016/j.egypro.2016.09.139](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.139).